

Esa Eloranta

Puupalakoneen toiminta

Kone ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
2016

# PUUPALAKONEEN TOIMINTA

Eloranta Esa  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Kone ja Tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2016  
Ohjaaja: Teinilä Teuvo  
Sivumäärä: 30  
Liitteitä: 0

Asiasanat: Puu, metsäenergia, biopolttoaine

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ja määrittää Raiselift Oy:n kehittämän uuden puupalakoneen toimintaa ja siihen liittyviä asioita prosessin kannalta. Myös laitteen valmistamaan tuotteeseen perehdytään vertailemalla sitä muihin vastaaviin tuotteisiin.

Työssä tutkittiin energiatuottokoneen toimintaperiaatetta ja sen kehittämistä edelleen eteenpäin. Koneita suunnitellaan suurempaan tehdaskäyttöön, mutta alkuperäinen prototyyppi on kehitetty aluksi ottamaan voimansa traktorin voimanotosta. Kone valmistaa puunappuloita, joiden on tarkoitus kilpailla markkinoilla hakkeen ja pelletin kanssa. Työssä selvitettiin puupalakoneen toimintaperiaatetta, jonka tarkoituksena on valmistaa puupalaa tuoreesta puusta polttoon. Opinnäytetyö aloitettiin kertomalla tarvittavasta laitteistosta ja niiden toiminnan tarkoituksesta. Prosessin toiminta ja laitteistojen kapasiteetit on myös selvitetty työssä.

Työssä tutkittiin myös puupalan poltto-ominaisuuksia ja verrattiin muihin vastaaviin polttoaineisiin. Laitteistoa myös testattiin paljon ja tehtiin vaadittavia korjauksia, johon opinnäytetyö myös keskittyy.

## OPERATING A PIECE OF WOOD MACHINE

Eloranta Esa

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical & Production Engineering

June 2016

Supervisor: Teinilä Teuvo

Number of pages:30

Appendices:0

Keywords: Wood, wood energy, biofuels

---

The purpose of this thesis was to study a new kind of pellet machine, created by Raiselift Oy. This thesis focuses on explaining the process, how pellet is made, but there are also reports of how this machine was tested. And also what improvements they made to this machine. The machine was a prototype and works currently with tractor. Though they are developing this machine to factory sized purposes.

In this thesis we also compared similar fuels to this new pellet and determined is this new type of fuel profitable. And what are the burning features.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	RAISELIFT OY .....	6
3	TOIMILAITTEET.....	6
3.1	Puupalakone.....	6
	Välitys.....	7
3.2	Sahauslaitteisto .....	8
	Puun syöttö.....	9
3.3	Ruuvikuivain.....	10
4	PROSESSI.....	11
4.1	Prosessin kuvaus .....	11
4.2	Laskennallisen tuotannon luvut .....	13
4.3	Laskennallinen energian kulutus.....	14
5	PUUPALAKONEEN TESTAUSJÄRJESTELY .....	15
5.1	Koneen testaus .....	15
5.2	Muita havaintoja .....	17
6	PUUPALAN POLTTOKOEET .....	18
6.1	Työtehoseuran polttokoe.....	18
6.2	Tulokset.....	22
	6.2.1 Osatehon kokeet .....	24
	6.2.2 Nollatehon koe.....	25
6.3	Tulosten tarkastelu .....	25
7	POLTTOAINEET .....	26
7.1	Polttoaineen kosteus.....	26
	Puun kosteuden mittaus menetelmät.....	27
7.2	Pelletti polttoaineena.....	27
7.3	Hake polttoaineena.....	28
7.4	Puupala polttoaineena .....	28
8	LOPPUYHTEENVETO .....	29
	LÄHTEET .....	30
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tutkimuksen kohteena on Raiselift Oy:n kehittämä laitteisto, jonka tarkoituksena on tuottaa polttoainetta pelletin ja hakkeen korvaajaksi tarkoitettuja puupaloja pienpolttolaitoksiin. Lähtökohtana on ollut tuottaa polttoainetta pienemmällä energiamäärällä sekä edullisemmin verrattuna hakkeen ja pelletin tuotantoon. Puupalan etuna voidaan pitää sen energiasisällön säilyminen polttoon asti, jota ei muilla vastaavilla polttoaineilla tapahdu.

Tämän tutkimuksen päätavoitteena on selvittää puupalatuotannon prosessi alusta loppuun. Työssä selvitetään laitteiden rakenteet sekä toimintatarkoitus kokoonpanopii-rustuksien avulla. Selvitetään myös mahdolliset tuotantomäärät sekä hinnat, jotta tuotteen valmistaminen on kannattavaa.

Tutkimuksessa selvitetään myös tarkoin puupalojen ominaisuudet ja kilpailukyky muiden vastaavien energia polttoaineiden kanssa. Tuoreesta puusta voidaan parhaiten hyödyntää puun energia-arvo, kun se ei ole vielä päässyt hapettumaan ilmassa pitkään kuivuessaan.

## 2 RAISELIFT OY

Raiselift Oy on perustettu 1991 Karviaan Pohjois-Satakuntaan. Yritys tuottaa pääsääntöisesti turveteollisuuden käyttöön tarkoitettuja koneita, joista viennin osuus on viimeisimpinä vuosina ollut 20% luokkaa.

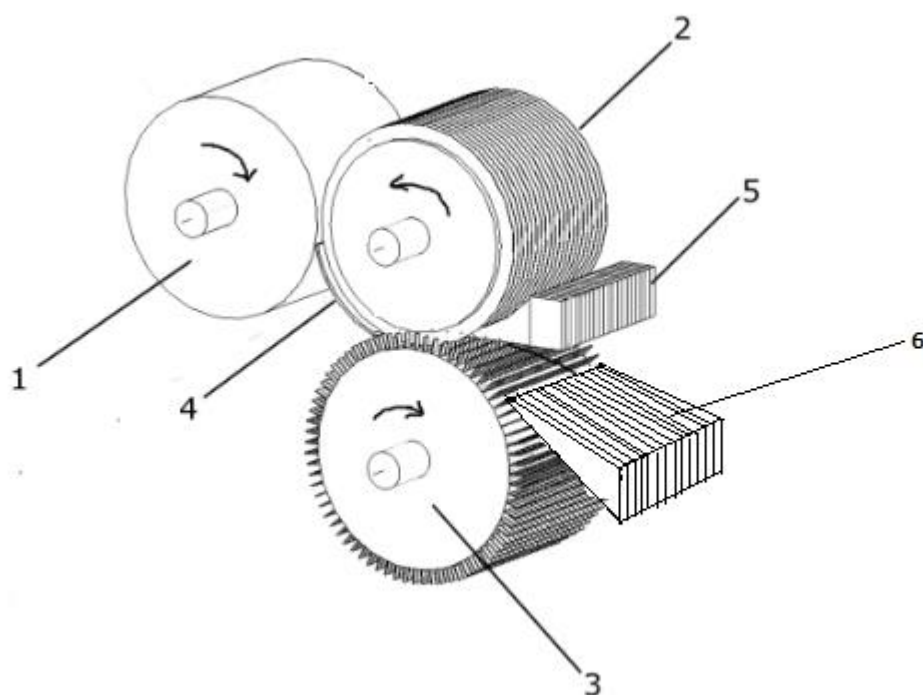
Mekaaniset turpeen kokoojavaunut, turvejyrsimet ja imukokoojavaunut ovat yrityksen tärkeimpiä tuotteita. Tuotteiden valmistus sisältää kaikkiaan parikymmentä turvetuotantoon sekä maatalouden tarpeisiin kehitettyä konetta, joiden innovatiivisuutta kertoo koneissa sovelletut monet omat patentit.

Tuotteiden luotettavuus, turvallisuus ja käyttömukavuus taataan niin yksityiskohtiin menevän viimeistelyn sekä asiaan paneutuvan valmistuksen ja pitkäaikaisen rakentavan hyvän asiakasverkoston yhteistyön pohjalta. Yritys tuottaa puhtaasti suomalaista konepajatekniikkaa.

## 3 TOIMILAITTEET

### 3.1 Puupalakone

Kuvassa 1 on esitetty puunappulakoneen kokoonpano. Toimintaperiaate on havaittavissa alla olevassa kuvassa. Konetta pyöritetään traktorilla 540 rpm ulosotolla siten, että pääsääntöisesti rumpujen 1, 2 ja 3 nopeus on luokkaa 140-170 rpm. Rumpujen 1 ja 2 väliin syötetään puukiekkoja, jossa tapahtuu pitkittäinen leikkaus puusta. Samalla myös puu puristuu kasaan. Seuraavaksi puupala menee 3 alapiikkirummun läpi, joka katkaisee puupalan sopivan mittaiseksi. Kaavarit 5 ja 6 irrottavat kiinni jääneet puupalat rummuista. Puupalakone leikkaa puukiekot paloiksi, jotka ovat kuution muotoisia. Puupalan kokoa pystytään suurentamaan sekä pienentämään käyttötarkoitukseensa vaihtamalla 2 ja 3 rummun kokoa. Jos kiekkoja syötetään koneelle liukuhihnalla niin koneen pyöriessä 160 rpm läpäisee kone 2000 kappaletta halkaisijaltaan 100 mm kiekkoa minuutissa. Konetta testattaessa pieni 20-30% nopeuden nosto ei vaikuttanut palojen muodostumiseen. Tätä suurempia nopeuksia koneella ei ole testattu.



Kuva 1. Puupalakone

### Välitys

Puupalakoneen voimansiirron välitykseen on käytetty yrityksen ennestään käyttämää ja hyväksi todettua kuvan 2 suunnanvaihtajavaihteistoa. Alennusvaihteiston välityssuhteet ovat muutettavissa 1:1-5:1 välillä. Rumpujen (kuva 1) 1, 2 ja 3 pyöritys on toteutettu ketjulla alennusvaihteiston ylä ja ala-akselia hyödyntäen.

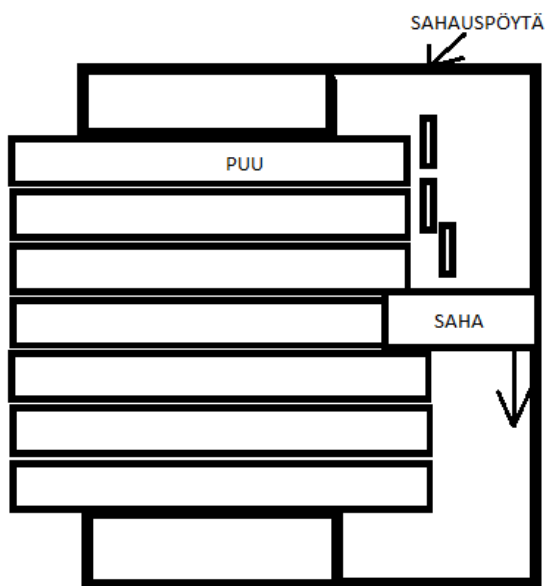


Kuva 2. Suunnanvaihtajavaihteisto. (Raiselift [www-sivut](http://www-raiselift.fi))

### 3.2 Sahauslaitteisto

Sahauslaitteisto on vielä kehitteillä, mutta toimintaperiaate on selvillä ja laitteistoa ollaan hankkimassa. Puun sahaukseen käytetään ohutteräistä vannesahaa. Kohtisuorasti puiden pituussuuntaa vasten asetettu kiskoilla liikkuva saha joka leikkaa puusta halutun paksuisen kiekon. Puut nostetaan ja ladotaan sahauspöydälle vaakatasoon siten, että sahattavat rungot tulevat vierekkäin muodostaen pitkän rivin puita. Sahaustehoa on kasvatettu siten, että liikkeensä päässä saha kääntyy 180° ja leikkaa puurivistön myös paluuliikkeessä. Saha leikkaa pöydällä olevat puut siten, että sahattu kiekko on 10-20mm paksu, jolloin saadaan sopivan kokoista puupalaa. Puun syöttö sahauslinjastoon toteutetaan hydrauliikan avulla.

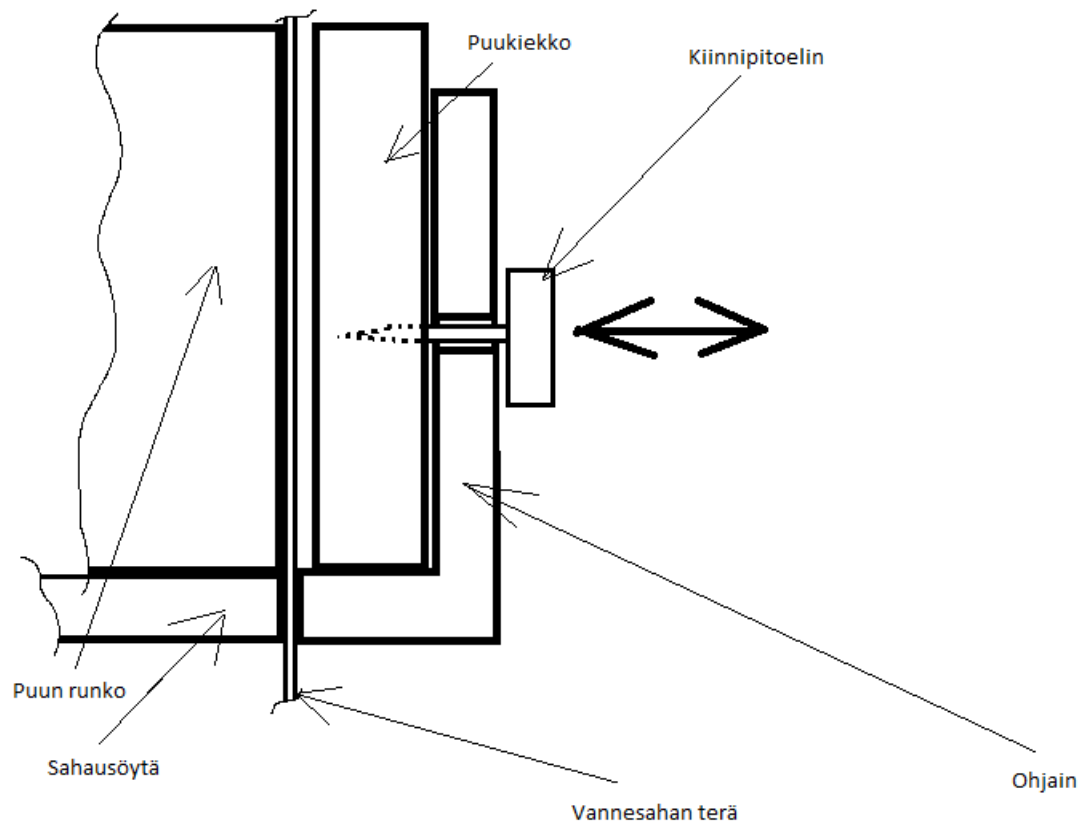




Kuva 3. Sahauspöytä ylhäältä päin.

### Puun syöttö

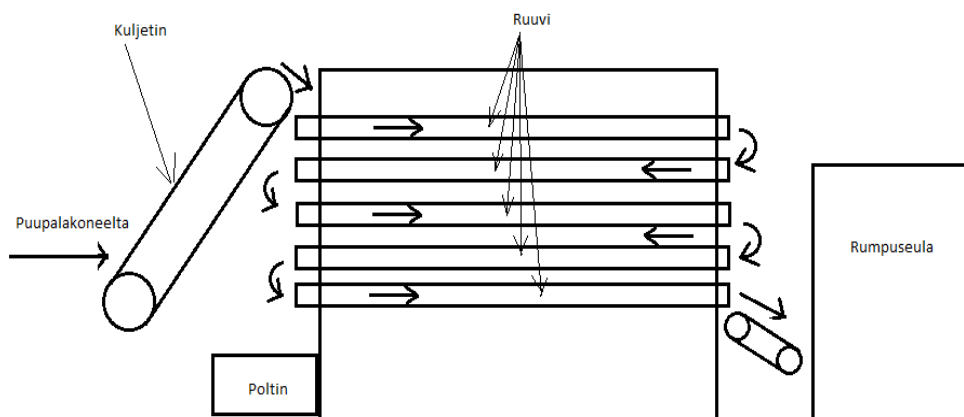
Sahattavat puut työnnetään hydraulikan avulla eteenpäin sahauslaitteen ohjaimelle, jossa puu pysähtyy (kuva 5) ohjaimeen. Tämän jälkeen puuhun kiinnittyy piikkimäinen kiinnipitoelin, joko paineilma-avusteisesti tai mekaanisesti. Näin saadaan sahaus mahdollisimman nopeaksi, kun sahattava kappale on kiinnitetty molemmista päistä tukevasti. Piikkien sijoittelun tarkoituksena on myös mahdollistaa rungon kokomittainen hyödyntäminen. Sahauksen jälkeen piikit irrotetaan leikatusta kappaleesta vetämällä ne takaisin asentoon, jossa tasopinta on tasainen näin puukiekot tipahtavat kuljettimelle. Hydraulikka työntää puut uudestaan ohjainta vasten ja kiinnipitoelin kiinnittyy puuhun, jolloin sahaus jatkuu.



Kuva 5. Puukiekon kiinnitys sahauksen aikana

### 3.3 Ruuvikuivain

Ruuvikuivaimen tarkoitus on kuivata korkealla lämpötilalla puupalasta sekä siitä seulotusta roskasta kosteus alle 10%. Ruuvikuivaimessa kuivattavaa materiaalia liikutellaan pitkillä ruuveilla uunissa, jonka lämpötila on 105 °C. Markkinoilla on saatavilla samankaltaisia ruuvikuivaimia, mutta tuotannon kannalta sellainen valmistetaan, joka on samassa suhteessa muihin toimilaitteisiin nähden. Ruuvien ja uunin koko on mitoitettu siten, että materiaali kuivuu tavoitekosteuteen läpäistyään uunin. Ruuvikuivain saa lämpönsä uunin jälkeen seulotuista puruista.



Kuva 6. Ruuvikuivain kuvattuna sivusta.

## 4 PROSESSI

### 4.1 Prosessin kuvaus

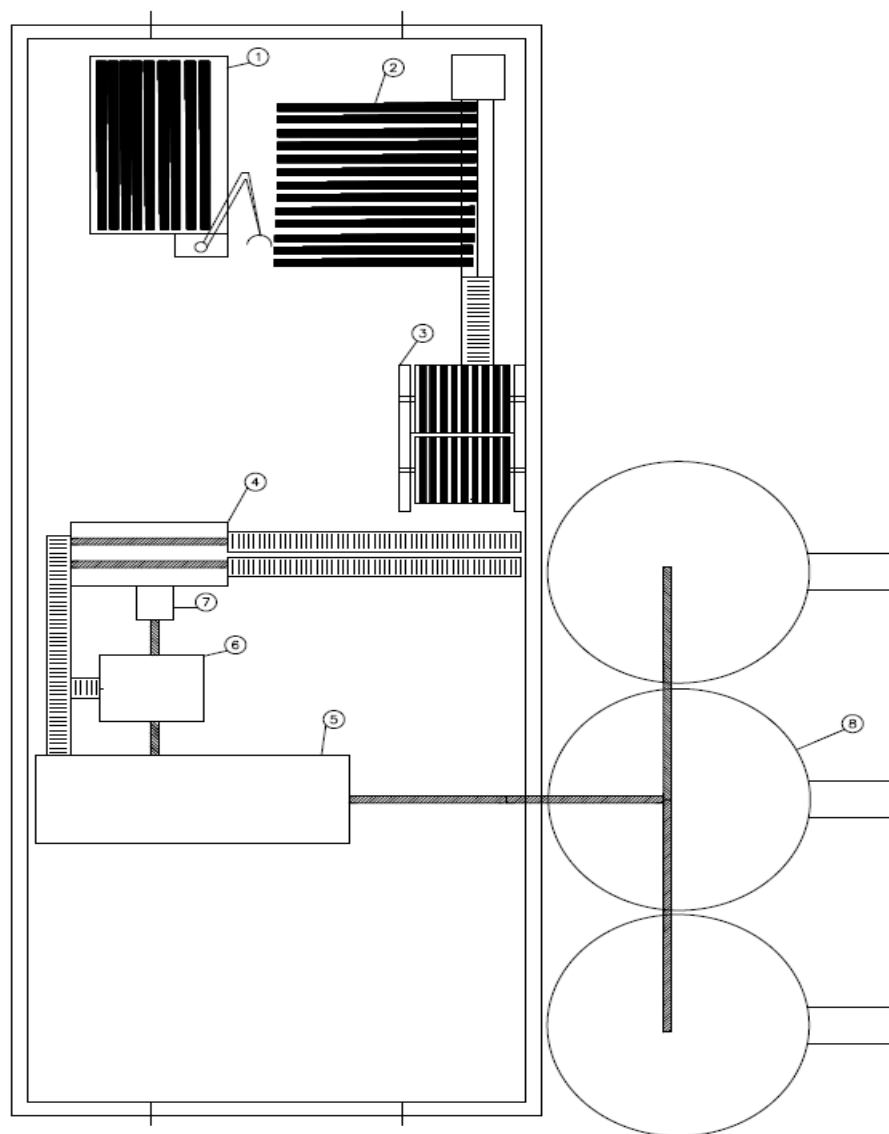
Puupaloja tuotetaan monivaiheisen prosessin mukaan seuraavasti. Raakapuutavara, ensisijaisesti koivu sekä mänty tuodaan mahdollisimman tuoreena tehtaan ulkovarastoon, josta puut siirretään tehtaaseen (kuva 5) 1 sijaitsevaan raaka-ainekahkoon. Sahausvaiheessa puut nostetaan ja ladotaan sahauspöydälle vaakatasoon siten, että sahattavat rungot tulevat vierekkäin muodostaen pitkän rivin puita. Puun sahaukseen käytetään ohutteräistä vannesahaa. Kohtisuorasti puiden pituussuuntaa vasten asetettu, kiskoilla liikkuva saha leikkaa puut kiekkoiksi. Saha leikkaa pöydällä olevat puut siten, että sahattu kiekko on 10-20mm paksu, jolloin saadaan sopiva paksuus puupalalle. Puupalan kokoa pystytään muuttamaan sahausvaiheessa käyttötarkoitukseensa sopivaksi.

Sahattavat puut ajetaan toisesta päästään kiinni päät tasaavaan ohjaimen. Ohjaimen, puuta vasten tulevalla, tasopinnalla olevien reikien läpi lyödään puihin piikkimäinen kiinnipitoelin. Sahauksen jälkeen piikit irrotetaan leikatusta kappaleesta vetämällä ne

takaisin asentoon, jossa tasopinta on tasainen ja puukiekot tipahtavat kuljetinhihnalle. Piikkien sijoittelun tarkoituksena on mahdollistaa rungon kokomittainen hyödyntäminen.

Sahatut kiekot ja sahauksessa syntynyt puru johdetaan puupalakoneelle. Kuljetus tapahtuu hihnakuljettimen avulla. Puupalakone leikkaa kiekot paloiksi, jotka ovat suunnilleen kuution muotoisia. Kiekot syötetään koneeseen yksitellen, mutta kuitenkin mahdollisimman pienin välein täyden työtehon saavuttamiseksi.

Kiekot syötetään (kuvassa 1) näkyvien rullien 1 ja 2 väliin ja ne tulevat paloina ulos rullien 2 ja 3 välistä. Osat 5 ja 6 on tarkoitettu terien puhdistamiseen.



Kuva 7. Puupalatuotannon kaaviokuva ylhäältä katsottuna

#### 4.2 Laskennallisen tuotannon luvut

Tuotannon kannattavuuden osalta oli tärkeä selvittää puupalan valmistukseen liittyviä lukuja. Alla olevista tiedoista selviää palojen tilavuudet sekä arvioitu kuinka paljon paloja teoriassa yhdestä kiekosta saa.

## Tilavuus

$$\begin{aligned}
 24 \quad \text{palaa/kiekkko} &= 100 \text{ mm kiekkko} \\
 106 \text{ kpl/litra} / 24 \text{ kpl/kiekkko} &= 4,4 \quad \text{kiekkkoa/litra} \\
 \text{rekka} \quad 150\text{m}^3 &= 4416,6 \quad \text{kiekkkoa/m}^3
 \end{aligned}$$

$$662500 \quad \text{kiekkkoa/ rekkalasti}$$

## Sahaus laskelma

Teoreettinen sahausnopeus (sawmizer 2 kpl) 600 kiekkkoa minuutissa

$$\text{Sahausaika } 150 \text{ m}^3 = 18,4 \text{ h} \quad \text{h}$$

## Puupalakoneen nopeus

$$\text{pyörimisnopeus} = 160 \text{ rpm} = 2000 \text{ kiekkkoa/min}$$

$$150 \text{ m}^3 \text{ puupaloja koneesta} = 5,5 \text{ h}$$

## Paino

$$\text{Mitattu } 23 \text{ litraa nappuloita paino } 6,7\text{kg} > \text{Kuutiopaino } 292,4 \text{ kg/m}^3$$

$$150\text{m}^3 \text{ rekkaan painoksi } 43 \text{ t}$$

## 4.3 Laskennallinen energian kulutus

Prosessin sähköenergiaa kuluttavat laitteet ovat seuraavat: puutavaranoasturi, puupalakone, vannesaha, rumpuseula(puru), kuljetin purulle, kuljetin puupaloille, ruuvi-kuivain, kuivaimen stokeri, kuljetin puruille, kuljetin puupaloille, rumpuseula puupaloille.

Suurimmat sähköenergian kuluttajat ovat puutavaranoasturi ja puupalakone. Puupalakoneen energian tarpeeksi arvioimme traktorin tyhjäkäyntikierrosten tehon mukaisesti 25 kW. Puutavaranoasturin tehontarpeeksi arvioidaan 10 kW. Vannesahan tehontarve on 3 kW

Kuljettimet eivät kuljeta erityisen suuria massoja, joten niiden tehonkulutus ei ole suuri. Purukuljettimen tehon tarve on noin 2 kilowattia. Puupalojen kuljettimen tehon tarve ei ole merkittävästi suurempi noin 2-3 kW. Ruuvikuivaimen moottorit luokkaa 3 kW sisältäen stokerin puhaltimen. Seulojen tehon tarve ei myöskään ole erityisen suuri ja se on luokkaa 2-3 kW per seula.

Koko tuotantoprosessin sähköenergianarpeeksi saadaan noin 56 kWh, olettaen että edellä arvioidut tehot ovat keskiarvoja. Keskiarvojen perusteella ja arvioitujen tuotantoaikojen mukaan 150m<sup>3</sup> tuottamiseen kuluu noin 450 kWh sähköä.

## 5 PUUPALAKONEEN TESTAUSJÄRJESTELY

### 5.1 Koneen testaus

Koetta varten kaadettiin tuoretta koivupuuta. Kaadetut koivut olivat halkaisijaltaan 50-200 mm. Kaadetut koivut punnittiin nosturin ja vaa'an avulla ja puuaineksen massaksi saatiin 592 kg. Kaikki punnittu puu sahattiin kiekkoiksi ja ajettiin koneen läpi puupalloiksi. Sahauksessa puusta jäi noin 80-150mm pätkiä, jotta sahaus onnistui turvallisesti.

Puunappulakone liitettiin traktoriin nivelakselilla. Traktorista oli valittuna 540 kierroksen ulosottoasento ja traktori kävi 700 rpm tyhjäkäyntiä. Näillä arvoilla nappulakoneesta mitattiin seuraavia pyörimisnopeuksia: Pitkittäisen leikkauksen suorittava rumpu (2) 140rpm, sileä rumpu (1) 130 rpm sekä alapiikkirumpu (3) 120 rpm. Pyörimisnopeudet ovat arvioitu käyttämällä pyörimisnopeusmittaria. Yllä on kirjattuna keskiarvo mittarin näyttämistä lukemista. Löysien ketjujen vuoksi pyörimisnopeus vaihtelee kierroksen aikana siten, että rummun 1 tapauksessa mitatut tulokset olivat 130-

150 rpm, joista keskiarvona saadaan ilmoitettu 140 rpm. Vastaavalla tavalla on arvioitu muiden rumpujen nopeus. Nostamalla traktorin kierroksia arvoon 900 rpm rummun 2 nopeus oli 170rpm mittarilla mitattuna.

Isoimpien kiekkojen tapauksessa traktorin kierrosten nosto noin 900 rpm riitti pitämään traktorin käynnissä vaikka kiekkoja syötettiin hyvin pienillä väleillä. Tyhjäkäynnillä traktori sammui melko helposti johtuen lähinnä, että pienikin kierrosten lasku riitti sammuttamaan traktorin. Koneen pysähtyessä ja kiekon ollessa koneen sisällä, aiheutti koneen jumittumisen, jolloin kiekot oli putsattava käsin pyörittämällä konetta rautakangella toiseen suuntaan. Irrotusta helpotti ketjuvälityksen irrottaminen rummista 2, jolloin voitiin pyörittää vain yhtä rumppua.

Kiekkoja syötettiin koneeseen käsin sekä hihnakuljettimella. Hihnakuljettimella ongelmia tuotti useamman kiekon perättäinen syöttäminen koneeseen. Hihnalle pudonneet kiekot eivät aina kulkeutuneet tasaisesti vaan kasautuivat siten että useita kiekkoja joutui koneeseen peräkkäin. Tämä itsessään ei ollut ongelma, kone pyöri edelleen vaikkakin voiman tarve oli huomattava.

Alhaisilla traktorin kierroksilla useampi kiekko saattoi kuitenkin satunnaisesti sammuttaa traktorin. Kahden kiekon ajautuminen koneeseen päällekkäin aiheutti koneen jumiutumisen. Tällainen tilanne pääsee tapahtumaan jos peräkkäisistä kiekkoista ensimmäinen ei heti ajaudu koneen imuun vaan jää pomppimaan 1 ja 2 rummun väliin, jolloin on mahdollisuus että seuraava kiekko ehtii jo edeltävän kiekon kanssa samaan vaiheeseen ja mahdollisesti molemmat kiekot ajautuvat koneeseen päällekkäin. Tällainen tilanne aiheutti koneen jumiutumisen siinä määrin että rumppu 2 tuli irrottaa laakerineen ja nostaa sitä, jotta kone saatiin jälleen pyörimään. Lisäksi tässä tilanteessa ohjauspelti 4 vääntyi siten että se alkoi ottamaan kiinni terärummun 3 piikkeihin. Syöttämällä kiekot käsin voitiin välttää kahden peräkkäisen kiekon joutuminen koneeseen yhtä aikaa.

Puunappulat seulottiin noin 50° kulmaan asetetun teräsverkkoseulan avulla. Verkon silmäkoko oli noin 20mmx20mm. Seulontajäte ja purut kerättiin talteen ja punnittiin. Seulotut puunappulat kerättiin kahteen laidalliseen trukkilavaan ja lopputuotetta muodostui 1,1 m<sup>3</sup>. Lopputuotteen massaksi saatiin 396kg vaa'alla mitattuna. Purun ja seulajätteen massa oli 117 kg ja sahauksen jätepalojen massa 44 kg.

592 kg:sta raaka-ainetta saatiin siis 396 kg lopputuotetta, 117kg purua ja roskaa ja 44kg käyttämätöntä raaka-ainetta. 592 kilosta prosessin jälkeen tavaraa oli jäljellä 557kg eli 6% painosta on hukkunut prosessissa. Suurin syy kadonneeseen painoon



lienee, että puuaines on kuivunut ollessaan hallissa useampia päiviä. Myöhemmin mitattu kosteus oli enää noin 40%. Hallin sisälämpötila oli noin 15°C.

Raaka-aineesta koneen jälkeen saatiin seuraavasti materiaalia. 396 kg eli 67% lopputuotetta. 44kg eli 7% sahauksen hukkapaloja. 117 kg eli 20% purua ja seulontajätettä. Raaka-aineesta 6% eli 35kg hävisi prosessissa. Osa tästä hävikistä lienee selitettävissä puuaineksen kuivamisella, raaka-aine punnittiin tuoreena. Loput ovat selitettävissä mittausepätarckkuuksilla ja sillä että kaikkea purua ja nappuloita ei saatu kerättyä.



Kuva 8. Puupala seulottuna.

## 5.2 Muita havaintoja

Tuoreesta puusta poistuu nestettä silmin nähden havaittavasti. Puun kosteusmittarilla mitattuna tuoreen sahatun puun kosteus oli noin 46% ennen koneeseen syöttöä ja leikkauksen jälkeen noin 41%.

Koneella suoritettiin kokeita myös kuivalla ylivuotisilla koivuhaloilla. Kuivan (kosteus noin 10 %) koivupuukiekon tapauksessa koneesta tarvittiin lisää voimaa. Kuivien kiekkojen tapauksessa isot kiekot halkaisijaltaan yli 200mm pysäyttivät koneen täysin, kuitenkin niin että traktori lähti vielä käymään, tällöin traktorissa oli kierroksia jo

1100rpm. Silloin laskennallinen rummun 2 nopeus olisi 220 rpm. Kuivat koivukiekot vaativat siis huomattavasti enemmän voimaa. Terän jälkiä tutkimalla näyttäisi siltä, että kuiva puu lohkeaa myöhemmin kuin tuore puu jolloin piikki täytyy painaa syvemmälle, kuin tuoretta puuta käytettäessä. Kuivasta aineesta tehdyt nappulat kuitenkin leikkautuivat hyvin haluttuun muotoon. Suurempi nopeus ei tuntunut vaikuttavan leikkautumiseen tai palan muotoon. Nappulakone pyöri melko raskaasti ja kerran kierroksessa on tahmeampi kohta. Teräpyörä 3 hankasi silminnähdessä akselin suunnassa ja syy tähän lieenee kiekkoja kasaamalla toteutettu rakenne. Kiekoissa oli, joko epätasalaisuista tavaraa tai leikkausepäkohtia. Tämä aiheutti sen että kiekot eivät puristuneet taiseksi vaan koottuun pakettiin jäi heittoa. Tämä heitto aiheuttaa sen, että ala kaavari 6 heittää myös, jolloin se on myös kosketuksissa teräpyörän kanssa aiheuttaen kitkaa. Alakaavarin kiristysmutterit pääsevät myös pidemmässä ajossa löystymään tämän seurauksena.

Ketjuvälitys oli niin löysä että rumpujen pyörimisnopeudet vaihtelevat kierroksen aikana. Ketjun kiristyessä vauhti kiihtyy ja löystyessä vauhti hidastuu.

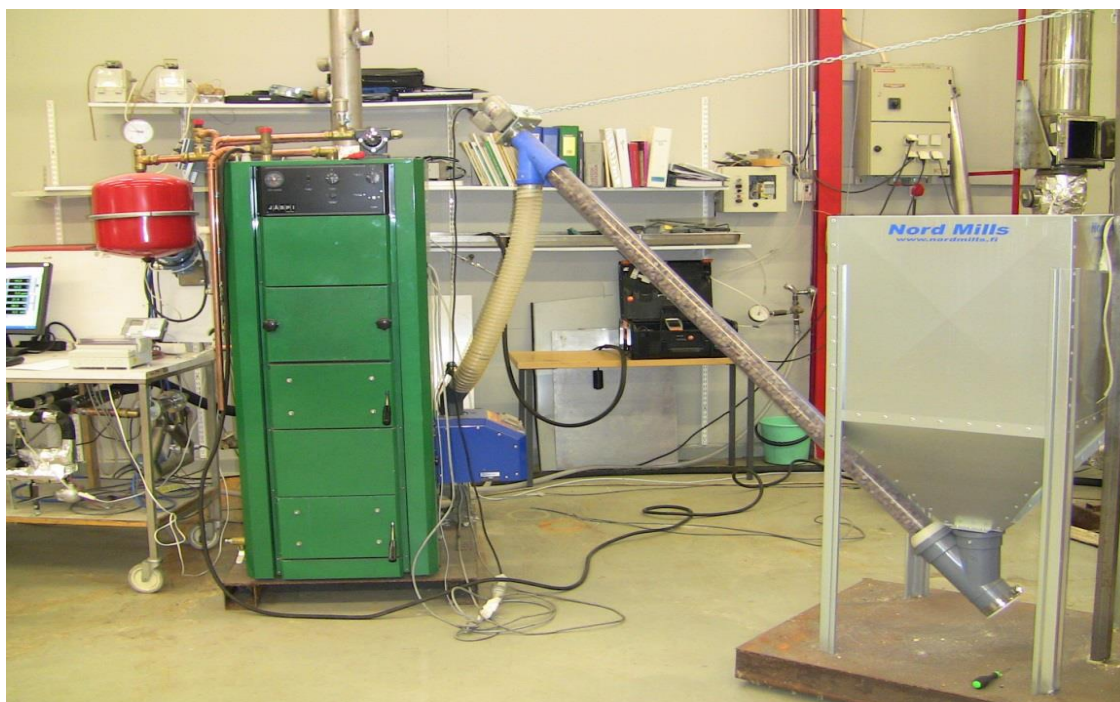
Ohjauspelti 4 oli alun perin kiinnitetty vain yhdestä kohdasta. Kiinnitys oli toteutettu hitsaamalla. Koska pelti oli liian pitkä, kovat kiekot saivat sen vääntymään, jolloin pelti osui alaterärummun hampaisiin. Asiaa korjattiin lisäämällä toinen tukipiste peltille. Uusi tuki oli alempana ja lähempänä alaterärumpua mutta ohjauspeltiin jäi vielä vapaata reunaa noin 40mm.

## 6 PUUPALAN POLTTOKOEET

### 6.1 Työtehoseuran polttokoe

Rajamäellä sijaitseva TTS tutkimuslaitos sai tehtäväksi selvittää Raiselift Oy:n kehittämän puupalan poltto-ominaisuuksia. Koetta varten valmistimme kuution koivupalaa sekä kuution mäntypalaa, jotka lähetimme TTS tutkimuslaitokselle. Aluksi testissä käytettiin pientä päiväsiiloa, josta se kulkeutui ruuvisyötöllä kattilaan kytkettyyn pellettipolttimeen. Puupalat toimivat pellettipolttimessa hyvin, mutta siilon alaosan kaltevuus tuotti ongelmia, koska sinne syntyi jatkuvasti holvi, joka esti polttoaineen kulun

polttimelle. Syöttö jatkui, kun holvi murrettiin käsin kepillä. Kuvassa 9 on esitetty ensimmäisen yrityksen laitteisto. Muovinen putki ruuvin ympärillä oli hyvin liukas ja puupalat kulkivat ruuvissa hyvin. Samoin ne putosivat polttimeen ja paloivat siellä. Ainoa ongelma oli syöttösiilon pohjakartion liian loiva muoto, mikä esti puupalojen kulun. Puupalat kuitenkin kulkivat hyvin kyseisellä siilolla.



Kuva 9. Kaukoran Pelletti 20 poltinkattilaan on kytketty Nord Millsin poltin, siirtoruuvi ja päiväsiilo (TTS raportti)

Koska tutkimuksen lähtökohtana oli tutkia puupalan palamista sekä päästöjä kyseisen laitteiston käytöstä luovuttiin ja käyttöön otettiin stokeripoltin. Stokeripolttimen säiliö oli varustettu pyörivällä lautasella, jonka tarkoituksena rikkoa säiliön holvi, jotta polttoaine pääsee ruuviin esteettä. Kuvassa 10 ja 11 on esitetty kokeissa käytetty laitteisto. Kokeissa käytettiin Raiselift Oy:n toimittamaa koivupuupalaa sekä mäntypuupalaa. Vertailukokeita tehtiin Wersowoodin 8 mm:n Hotti puupelletillä. Aluksi selvitettiin stokerin suurin mahdollinen polttoaineteho näillä polttoaineilla. Sitä varten stokerin syötön säädöt laitettiin suurimpaan mahdolliseen arvoon. Koivupuupalalla saatiin 100 kW:n polttoaineteho. Mäntypuupalalla päästiin 80 kW:n polttoainetehoon. Puupelletillä päästiin hieman yli 300 kW:n polttoainetehoon.





Kuva 10. Säättötuli 20 stokeripoltin on kytketty Kaukoran Pelletti 20 poltinkattilaan. (TTS raportti)

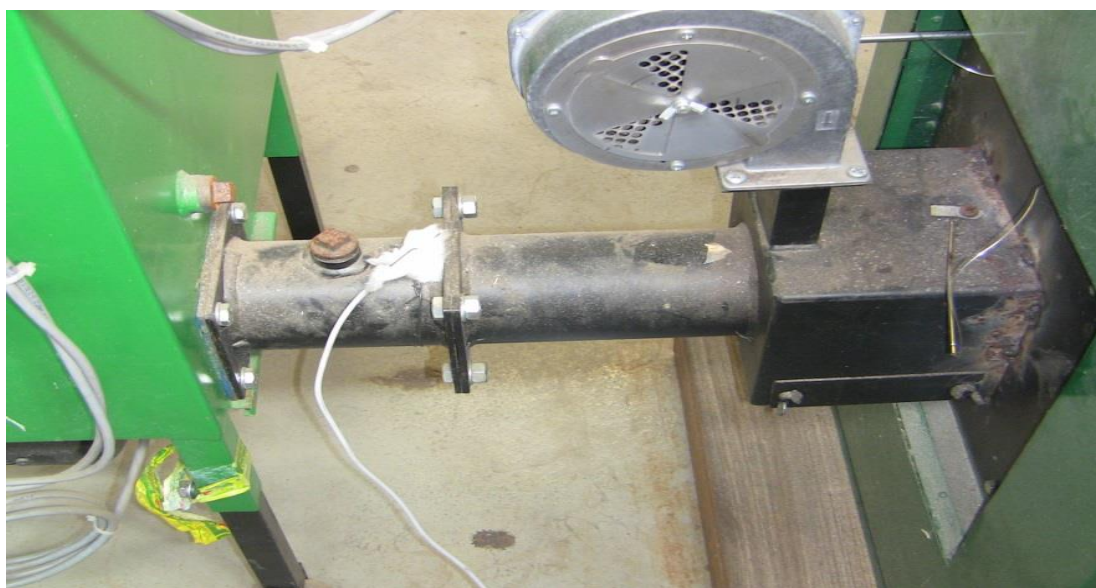


Kuva 11. Lautasen sijainti stokerin siilon pohjalla, kuvassa koivupuupalaa. (TTS raportti)

Koska stokerin palopään nimellisteho on vain 20 kW, niin jokainen eri polttoaine vaati erilaiset säädöt. Ruuvien pyörimisaika ja tauko aika määräävät palopäähän kulkeutuvan polttoaineen määrän. Puhaltimen tuottama palamisilman määrä pidettiin vakiona ja syöttöä säädettiin niin, että savukaasujen lämpötila oli noin 170 °C. Sitä ennen puhallin oli säädetty noin 20 kW:n nimellistehoa vastaavalle ilmamäärälle.

Savukaasuista mitattiin lämpötila, palamishyötysuhde, hiukkaset, CO ja NO<sub>x</sub> pitoisuudet ja päästöt sekä savukaasujen happipitoisuus. Myös savukaasujen määrää ja hormin painetta mitattiin.

Mittaukset tehtiin Testo 350 XL ja Testo 380 kannettavilla kenttämittareilla. Mittarien rakenteesta johtuen, niillä ei voitu tehdä pitkiä jatkuvatoimisia mittauksia. Mittaukset tehtiinkin ottamalla 30 minuutin näytteitä savukaasuista, kun poltin-kattilayhdistelmä oli mahdollisimman hyvin jatkuvuustilassa. Tämä tarkoittaa tilaa, jossa laitteisto on säädetty haluttuun tilaan ja säätöjä ei muuteta tänä aikana. Samoin polttoaineen laatu ja kulkeutuminen laitteistoon oli hyvää ja tasaista. (TTS raportti)



Kuva 12. Mittauskohta syöttöputkessa. Kokeiden aikana lämpötila ei noussut yli 60 °C:n millään polttoaineella ja kokeella. (TTS raportti)

## 6.2 Tulokset

Tutkituista polttoaineista määritettiin kosteus, tilavuuspaino ja lämpöarvo saapumistilassa.

Taulukko 1. Kokeissa olleiden polttoaineiden ominaisuuksia. (TTS raportti)

Polttoaine	Tilavuuspaino, kg/m <sup>3</sup>	kosteus, %	lämpöarvo, kWh/kg
Koivupala	305	7,2	4,8
Mäntypala	245	5,1	5,0
Puupelletti	640	7,2	4,9

Taulukossa 2 on esitetty Ligno Testerillä tehdyt eri polttoaineiden kestävyys kokeet standardin mukaan (60 sekuntia). (TTS raportti)

Taulukko 2

Polttoaine	Kestävyys, Ligno Tester, %
Koivu	99,8
Mänty	99,8
Puupelletti	98,9

Lisäksi kokeiltiin eri polttoaineiden kosteuden kestävyyttä. Koe tehtiin siten, että 200g käyttökuivaa polttoainetta lisättiin 100g vettä ja annettiin liueta 2 tuntia. Tämän jälkeen näytteet kuivattiin ja punnittiin. Näytteet seulottiin 3,14 mm:n seulalla ja punnittiin uudelleen. Tästä laskettiin hävikki.

Taulukko 3. Kosteuden vaikutus polttoaineen murenemiseen. (TTS raportti)

Polttoaine	Hävikki, %
Koivu	0
Mänty	0,3
Puupelletti	79



Kuva 13 ja 14. Vasemmalla on kuvattu polttoaineet kostutuksen jälkeen, oikealla kuivauksen ja seulonnan jälkeen. (TTS raportti)

Polttokokeet aloitettiin täyden kuorman ajoilla, joissa poltin käy yhtäjaksoisesti vakio teholla. Polttoaineen syöttö ei ole yleensä aivan tasaista vaan pientä vaihtelua esiintyy. Tämä aiheuttaa palamisarvoihin pientä huojuntaa, minkä takia käytetään pidempää mittausjaksoa, josta sitten laskettu keskiarvo. Taulukossa 4. on esitetty keskiarvot 30 minuutin mittausjaksolta. (TTS raportti)

Taulukko4. Taulukon arvot ovat keskiarvoja 30 minuutin mittausjaksolta, kun poltinkattila-yhdistelmä (Säätötuli 20+Kaukora Pelletti 20 poltinkattila) oli jatkuvuustilassa. Polttimeen palamisilman määrä pidettiin vakiona ja syöttöä säädettiin niin, että savukaasujen lämpötila oli noin 170 °C. (TTS raportti)

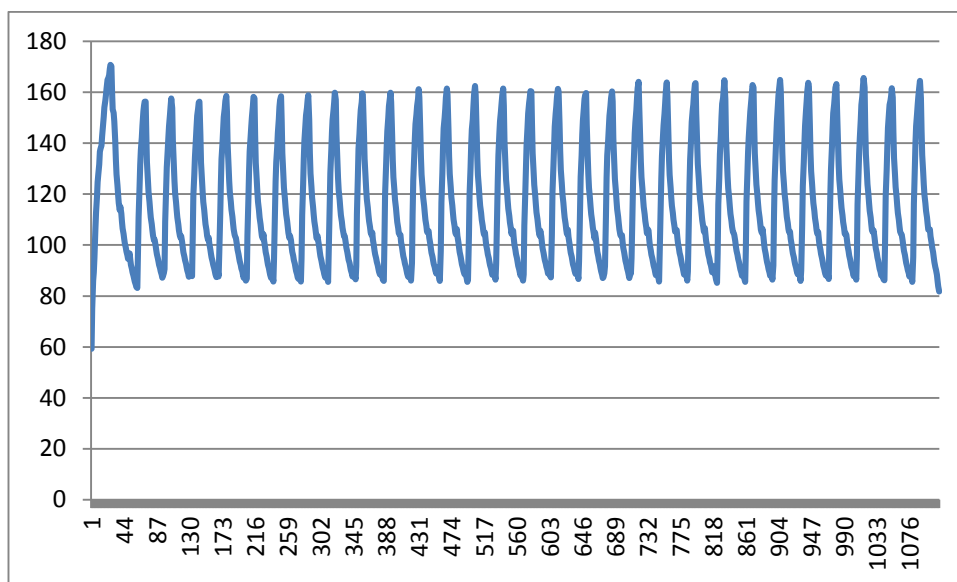
Polttoaine	Koivupala	Mäntypala	Puupelletti, halkaisija 8 mm, ruuvi 22 %, käynti 16 %
Teho veteen, kW	17	17	17,5
Kokonaishyötysuhde, %	83	82	82
Palamishyötysuhde, %	91,5	91,4	90,5
Savukaasun lämpötila, °C	170	170	169
Savukaasun happipitoisuus, %	10,2	11,1	9,7
Savukaasun häkäpitoisuus, ppm	114	160	49
Savukaasun häkäpäästö, mg/m <sup>3</sup>	106	162	46
Savukaasun NO <sub>x</sub> -pitoisuus, ppm	101	95	90



Savukaasun NO <sub>x</sub> -päästö, mg/m <sup>3</sup>	153	136	129
Savukaasun hiukkaspäästö, mg/m <sup>3</sup>	40	25	16
Tuhkan ja palamattoman määrä kuiva-aineessa, %	0,8	0,8	0,7

### 6.2.1 Osatehon kokeet

Puupaloille tehtiin osatehon koe, jossa kuormitus oli vain kolmasosa nimellistehosta. Stokeripoltin toimii siten, että kun kattilaveden lämpötila saavuttaa termostaattiin säädetyn lämpötilan niin stokeri siirtyy ylläpitotilaan. Tällöin palopäähän syötetään vain sen verran polttoainetta, että hiillos säilyy. Kattilaveden lämpötilan laskiessa tiettyyn valittuun arvoon käynnistyy poltin taas tehokäynnille. Kuvassa 6 on esitetty savukaasun lämpötilan muutokset 6 kW:n osateholla.



Kuva 14. Savukaasun lämpötila 6 kW:n osateholla. (TTS raportti)



Kuvasta 14 nähdään, että palamisen päästessä vauhtiin poltin siirtyy ylläpitotilaan, eli kitupoltolle. Tällöin palaminen on huonoa ja kattila likaantuu sekä hyötysuhde huononee. Nykyään suositellaankin, että stokeri kytkettäisiin varaajaan ja se varustettaisiin sähkösytytyksellä. Tällöin poltin voitaisiin sammuttaa käyntijaksojen välillä. Puupaloilla tehdyissä kokeissa, joissa kattilaa kuormitettiin kolmasosalla nimellistehosta hyötysuhde huononi 82 %:sta 70 %:iin. (TTS raportti)

### 6.2.2 Nollatehon koe

Koivupuupalalle tehtiin myös nolla-tehon koe, jossa kattila on valmiina mutta sitä ei kuormiteta. Tällöin kattilaan tulee vain sen verran polttoainetta, että tuli säilyy palopäässä. Jos palopäähän tulee liiaksi polttoainetta, niin kattilaveden lämpötila nousee lähelle kiehumispistettä. Tämän tapahtuessa termostaatti katkaisee sähköt polttimesta ja poltin sammuu. Mikäli polttoainetta tulee liian vähän, niin poltin sammuu myös silloin. Koivupalan kokeessa tuli säilyi vuorokauden palopäässä, joten voidaan sanoa polttoaineen soveltuvan suoraan lämmitykseen kun säädöt ovat kohdallaan. Tehdyssä kokeessa polttoaineteho oli 1,2 kW. Tämä teho kuluu erilaisiin häviöihin kuten läpivirtaushäviöön, vaippahäviöön ja johtumishäviöön. (TTS raportti)

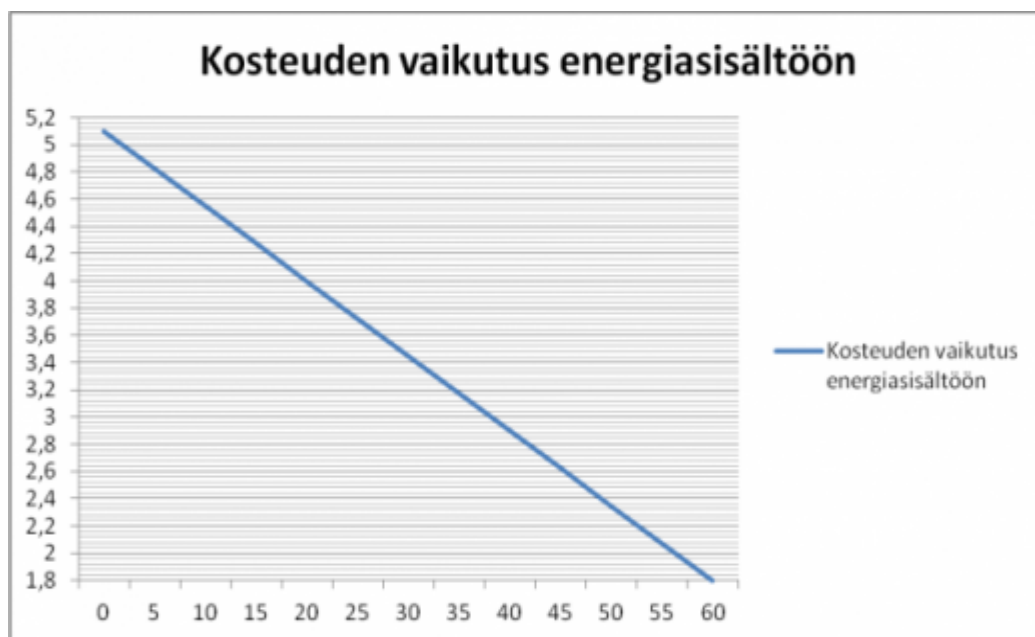
### 6.3 Tulosten tarkastelu

Koivupalalla oli hieman suurempi hiukkaspäästö kuin mäntypalalla ja puupelletillä. Tämä saattaisi johtua koivupalojen joukossa olevasta tuohesta. Muuten päästöjen määrä oli vähäinen. Stokerin pohjalla oleva lautanen rikkoi jonkin verran puupaloja, lisäten siten purun määrää. Muuten puupalat soveltuivat hyvin stokerin polttoaineeksi. Puupalojen kestävyys niin mekaanisesti kuin kosteudenkin suhteen on erinomainen verrattuna puupellettiin. Kuiville ja tasalaatuisille puupaloille voisi olla erityisesti käyttöä puukaasuttimissa. Esimerkiksi käyttöä voisi olla hajautetussa lämmöntuotannossa ja sähköntuotannossa, jopa ajoneuvoissa.

## 7 POLTTOAINEET

### 7.1 Polttoaineen kosteus

Suomessa poltetaan merkittävä määrä puuta joka vuosi ja suhdanne jatkaa nousua vuosi vuodelta ylöspäin. Puun kosteuteen kiinnitetään silti melko vähän huomiota. Tuoreen puun kosteus on keskimäärin 50-60% riippuen puun kaato ajankohdasta. Esimerkiksi polttopuu luokitellaan laadukkaaksi, kun sen kosteusarvo on alle 16% ja hakkeen 25-30%. Joten kuivan puun merkitystä polttoaineena ei voi sivuuttaa. Puun energia-arvo laskee huomattavasti puun kosteus prosentoin kasvaessa, oli puu missä muodossa tahansa. Pääsääntöisesti pyritään siis polttamaan puu mahdollisimman kuivana, jotta samasta puumäärästä saadaan paljon suurempi energia sisältö talteen, kuin kostea puuta käytettäessä.



Kuva 15. Kosteuden vaikutus energiasisältöön (Bioenergianeuvoja [www-sivut](#))

Suomessa käytettävissä kiinteissä polttoaineissa, esimerkiksi puun ja turpeen kosteus on hyvin suuri. Kun bioenergiakauppaa tehdään suurlaitostasolla, on kauppa yleensä megawatti tai kilowatti saadun energian mukaan määritelty hinta. Näin toimitaan suurissa voimalaitoksissa, jotka käyttävät haketta ja turvetta. Alalla olisi syytä huomioida suuret taloudelliset hyödyt, jotka olisi saavutettavissa kuivemman poltettavan poltto-

aineen kosteuden toimittamisella. Kaupan järjeistäminen olisi kaikkien etu. Voimalaitokset voisivat pienentää varastojansa, kun poltettavan aineen määrä vähenee niin samalla logistiikka kustannukset pienenevät. Myös luonnonvarat kestäisivät pidempään, kun sama energia sisältö voitaisiin saavuttaa pienemmillä energia määrillä. (Energianeuvoja [www-sivut](#))

#### Puun kosteuden mittaus menetelmät

Energian kosteuden mittaukseen esimerkiksi voimalaitoksilla käytetään kosteusmittaria tai perinteisellä laskukaavalla, jossa kostea polttoaine suhteutetaan sen kuivapainoon alla olevan laskukaavan mukaisesti.

$$(\text{puun märkäpaino-kuivapaino}) / \text{märkäpaino} \times 100$$

#### 7.2 Pelletti polttoaineena

Pelletti valmistetaan pääsääntöisesti teollisuudesta syntyvästä jätteestä, jotka ovat esimerkiksi kutterinpuru, sahajauho ja hiontapöly. Pelletti valmistetaan sylinterin muotoiseksi palaksi hydraulikan avulla, jolla on suuri energian tarve. Se luokitellaan uusiutuvaksi bioenergiaksi. Polttoaineena sillä on etuna hyvä lämpöarvo pienessä tilavuudessa. Se on tasalaatuista, hajutonta ja helposti käsiteltävissä. Alle 10 % kosteuden omaavan pelletin kanssa ei ole ongelmia sen jäätymisen eikä homehtumisen kanssa, mutta kosteuden sijaan on suuria ongelmia, jolloin se menettää ominaisuutensa poltettaessa. Pelletin myynti ja osto tapahtuu melkein aina painoon sitoutuneena kilo/tonni kauppana. Pelletin energia sisältönä voidaan pitää 4,75 kWh/kg eli noin kuutio pellettiä painaa noin 600 kg ja sisältää näin energiaa 2,8 MWh. (Energianeuvoja [www-sivut](#))

$$\text{Hinta €/MWh} = 58\text{€} \text{ (Puupelletti sisältää alv 24 \%)}$$

(Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hinnat [verkkajulkaisu])

### 7.3 Hake polttoaineena

Hake on koneellisesti hakettua puuta, jota voidaan valmistaa oikeastaan puun kaikista osista. Hake on Suomen merkittävin puupolttoaine. Sitä käyttävät niin isot että pienet voimalaitokset. Se on myös vakiinnuttanut asemansa kuluttajien keskuudessa, jossa nykyaikaisella teknologialla se on helppokäyttöinen ja huoleton lämmitysmuoto. Hakkeen polttamiseen liittyy myös paljon ongelmia. Suurimmat syyt ongelmiin ovat hakkeen laadun tasaisuus sekä kosteus. Kuivan puun lämpöarvo on 4-5 kWh/kg, mutta jos hakkeen kosteus on yli 30 %, suurin osa energiasta menee puun kuivattamiseen. Pienempi osa menee itse lämmittämiseen, joten hyötysuhde tippuu huomattavasti. Myös korkeammat päästöarvot, kattilan nokeaminen, tuhkan suurempi kertyminen, polttoaineen homehtuminen ja johtaa lämpöarvon putoamiseen. Myös polttoaineen jäätyminen aiheuttaa holvaantumista ja saa näin katkoksia polttoaineen syötössä. Näistä huomioista huolimatta Suomessa poltetaan paljon korkealla kosteus prosentilla omaavaa haketta. Hakkeen energiasisältö luonnollisesti vaihtelee huomattavasti, mutta keskiarvona voidaan pitää kuutiometriltä 0,7-0,9 MWh hakkeen kosteudesta ja laadusta riippuen. (Energianeuvoja [www-sivut](#))

Keskimääräinen hinta €/MWh = 26€ (Hake sisältää alv 24 %)

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hinnat [verkkajulkaisu].

### 7.4 Puupala polttoaineena

Puupala on koneellisesti tuotettua puupalaa, jota valmistetaan ainoastaan rankapuusta. Etusijalla ovat koivu sekä mänty, jotka omaavat korkeamman lämpöarvon verrattuna muihin puulajeihin Suomessa. Puupalan pääperiaatteena on käyttää tuoretta puuta mahdollisimman tehokkaasti hyödyksi. Se sisältää paljon samoja ominaisuuksia kuin puupelletti. Sillä on hyvä lämpöarvo pienessä tilavuudessa. Se on tasalaatuista, hajutonta ja helposti käsiteltävissä. Alle 10% kosteuden omaavan puupalan kanssa ei ole

ongelmia jäätyamisen eikä homehtumisen kanssa. Pellettiin verrattuna puupalan kosteuden kestävyys on aivan omaa luokkaansa, jolloin se säilyttää ominaisuutensa. Puupaloista on seulottu puun kuori pois, joka edistää puun palamista puhtaammin. Näin ollen sen pienhiukkaspäästöt ovat pienemmät ja puun palaminen on tasaisempaa.

Puupalan käyttökohteet ovat samat, kuin puupelletillä ja hakkeella eli tuote soveltuu niin voimalaitoksiin kuin yksityistalouksiin. Puupalan lämpöarvo männystä tehtynä on 5,0 kWh/kg ja kuutiometri painaa noin 250kg. Koivusta tehty puupalan lämpöarvo on 4,8 kWh/kg ja kuutiometri painaa noin 300kg. Näiden keskiarvojen perusteella kuutiometri puupalaa sisältää siis energiaa 1,4 MWh. Puupalan kannattavuus laskelmien mukaan hinta olisi 28€/MWh sisältäen alv 24 %.

## 8 LOPPUYHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli kartoittaa puupalakoneen toimintaperiaatetta ja kuinka tuotantoprosessi aiotaan toteuttaa tulevaisuudessa. Hanke on edennyt hitaasti eteenpäin, mutta se aiotaan toteuttaa vuoden 2016 loppuun mennessä.

Kyselyiden perusteella puupalasta ollaan kiinnostuneita monella sektorilla, jotka haluaisivat saada puupalaa testaukseen. Työn edetessä selveni että paljon kehitettäviä asioita on edessä, joita on mahdoton teoriassa ratkoa, koska vastaavanlaista puupala konetta ei ole vielä kehitetty, jota voisi verrata.

## LÄHTEET

Yrityksen www-sivut. Viitattu 5.4.2016. <http://www.raiselift.fi/fi/etusivu.html>

Työtehoseura TTS raportti. Viitattu 2.4.2016

Bioenergianeuvoja www-sivut. Viitattu 22.4.2016. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/puun-kosteus/>

Bioenergianeuvoja www-sivut. Viitattu 23.4.2016 <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/>

Bioenergianeuvoja www-sivut. Viitattu 24.4.2016 <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/pelletti/>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Viitattu 2.5.2016  
[http://www.stat.fi/til/thi/2016/03/thi\\_2016\\_03\\_2016-04-25\\_tau\\_025\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/thi/2016/03/thi_2016_03_2016-04-25_tau_025_fi.html)

Suomen virallinen tilasto (SVT): Viitattu 2.5.2016  
[http://www.stat.fi/til/ehi/2015/02/ehi\\_2015\\_02\\_2015-09-17\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2015/02/ehi_2015_02_2015-09-17_tie_001_fi.html)

